

(45)発行日 平成9年(1997)12月8日

(24)登録日 平成9年(1997)8月15日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 2 F 1/37

識別記号

府内整理番号

F I
G 0 2 F 1/37

技術表示箇所

請求項の数3(全6頁)

(21)出願番号 特願平2-227187
 (22)出願日 平成2年(1990)8月29日
 (65)公開番号 特開平4-107536
 (43)公開日 平成4年(1992)4月9日

(73)特許権者 99999999
 沖電気工業株式会社
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号
 (72)発明者 篠崎 啓助
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
 気工業株式会社内
 (72)発明者 大柴 小夜子
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
 気工業株式会社内
 (72)発明者 上條 健
 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
 気工業株式会社内
 (74)代理人 弁理士 大垣 孝
 審査官 佐藤 宙子

(54)【発明の名称】 第2高調波発生装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】半導体レーザを基本波光源とする第2高調波発生装置であつて、両端面を低反射端面とした半導体レーザチップと、該半導体レーザチップの両低反射端面の近傍にそれぞれ光ファイバ端を配して両低反射端面間を光学的に結合するための光ファイバと、前記半導体レーザチップの一方の低反射端面と前記光ファイバの光ファイバ端との間に設けられた第2高調波発生素子と、前記光ファイバの中間に設けられた光学手段とを具えており、前記光学手段は、その配置角度を調整することにより、前記第2高調波発生素子の位相整合条件を満足させる発振波長で前記レーザ発振を行わせるための基本波を選択

する手段としたこと

を特徴とする第2高調波発生装置。

【請求項2】請求項1に記載の第2高調波発生装置において、前記光学手段を回折格子としたことを特徴とする第2高調波発生装置。

【請求項3】請求項1に記載の第2高調波発生装置において、前記光学手段をプリズムとしたことを特徴とする第2高調波発生装置。

【発明の詳細な説明】

(産業上の利用分野)

この発明は、レーザを基本波光源とする第2高調波発生装置に関する。

(従来の技術)

この種の第2高調波発生装置は光源からの出射光の波長を1/2に変換して短波長化を図る装置である。この種

の装置に使用される第2高調波発生素子(SHG素子ともいう)の一例が文献I:「エレクトロニクス レターズ(Electronics Letters), vol. 25, (1989), pp. 731-732」に開示されている。

以下、第2図を参照しながらこのSHG素子の動作原理(相位相整合法)を説明する。第2図はこの原理の概念を説明するための模式図である。

このSHG素子では、LiNbO₃基板10の+C面にTi(チタン)を周期的(周期 Λ に熱拡散(拡散温度:約1100°C; 拡散時間:約1時間)してドメイン反転構造12が形成してある。また、このドメイン反転の格子状構造12に直交するように、プロトン交換法(Li⁺-H⁺交換法)に

$$l_c = \frac{\lambda(\omega)}{4\{N_n(2\omega) - N_m(\omega)\}} \dots \quad (1)$$

ただし、 $N_n(2\omega)$ は第2高調波のn次の伝播モードに対する実効屈折率、 $N_m(\omega)$ は基本波のm次の伝播モードに対する実効屈折率である。

以下、説明を簡単にするために、光導波路14中を基本波も第2高調波も0次モード(基本モード)で伝播する場合を例にして説明する(すなわちm=n=0)。

ここでコヒーレンス長 l_c は、基本波の波長 $\lambda(\omega)$ や光導波路の寸法に依存するが、 $\lambda(\omega) = 830\text{nm}$ とし、光導波路の厚さ=d=1μm程度とした場合、1.7μm程度であるといわれている。尚、この値の根拠は、LiNbO₃の波長0.83μmの光に対する屈折率n⁽⁸³⁰⁾は2.300、0.415μmの光に対する屈折率n⁽⁴¹⁵⁾は2.419程度であり $N_n(\omega)$ としてn⁽⁸³⁰⁾の値を用いおよび $N_n(2\omega)$ とし

$$\Delta k = \frac{4\pi}{\lambda(\omega)} (N(2\omega) - N(\omega))$$

で与えられる。

そこで、第2図に示すように、コヒーレント長 l_c 毎にドメイン反転領域12を設けて周期 $\Lambda (=2l_c)$ の、ドメイン反転領域12の格子状構造を形成して位相不整合 Δk を補完し、よって基本波の伝播距離のほぼ2乗に比例した強度の第2高調波を取り出されるようにしている。

ところで、この位相不整合 Δk を完全に補完するための条件は、

$$N(2\omega) - N(\omega) - \lambda(2\omega)/\Lambda = 0 \dots (2)$$

である。(例えは文献II:「オプティクス コミュニケーションズ(Optics Communications) vol. 6, (1972), pp. 301-304」参照。特に、この文献中(12)式がこれに当たる)。厳密な位相整合($\Delta k = N(2\omega) - N(\omega) = 0$ が取れない場合でも周期的ドメイン反転構造を(2)式を満足するように形成すれば、基本波の伝播距離、従って、SHG素子の長さLの2乗に比例する第2高調波を取り出すことができる。

しかしながら、(2)式で与えられる条件は次の2点において技術的に満足させることが難しい。

より、光導波路14が形成してある。

このSHG素子に第2図に示すように基本波(角振動数 ω ; 波長入 $\lambda(\omega)$)が左側から光導波路14に入射し、あるm次($m=0, 1, 2, \dots$)の伝播モード(伝播横モード)で光導波路14中を実効屈折率 $N_m(\omega)$ で伝播する。周知の通り、この伝播の間に第2高調波(角振動数 2ω ; 波長入 $\lambda(2\omega)$)が発生する。すなわち、基本波のエネルギーの一部が第2高調波 2ω に移る。

今、仮りにドメイン反転領域が形成されていないとすると、次式で与えられるコヒーレンス長 l_c だけ基本波が光導波路14中を伝播すると、基本波からの第2高調波へのエネルギーの変換量が最大となる。

で $n^{(415)}$ の値を用いてコヒーレント長 l_c を計算しても真の値とあまり大きくならないであろうという仮定に基づいている。

このコヒーレント長 l_c が1.7μmということは、基本波が光導波路14中を1.7μm進めば第2高調波の強度は最大となり、それからさらに1.7μm進めば第2高調波の強度は0となることを意味する。言い換えると、コヒーレンス長 l_c が無限大でなく有限な値であるということは、基本波と第2高調波の位相整合が完全にはとれていないことを意味し、また、コヒーレンス長 l_c 以上に長い距離にわたり、導波路中を基本波が伝播しても第2高調波の強度はある一定値以上の大さにならないことを示している。この位相不整合 Δk は、

$$N(2\omega) - N(\omega)$$

①実効屈折率 $N(2\omega)$ および $N(\omega)$ が光導波路の寸法に依存し、ここで必要とされる寸法精度は現在の技術では十分には達成できないこと、および

②周期の Λ への寸法精度も、上記①と同様、十分には得られないこと。

そこで、前掲した文献Iの論文では、基本波光源として波長を可変できるダイ(dye)(色素)レーザを用い、(2)式の条件を満足させ、変換効率を大きくする方式を取っている。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、基本波光源としてダイ・レーザを用いると、第2高調波発生装置全体が大型化してしまうこと、および、すでに気体レーザ等で単波長レーザ光が得られる現在、ダイ・レーザを基本波光源として用いる第2高調波装置は実用的価格がほとんどない。

そこで、この出願の発明者は、種々の研究および実験を行なったところ、ダイ・レーザを用いる代わりにこれよりもはるかにコンパクトな半導体レーザ(以下、単にLDと略記する)を基本波光源として用い、この発振波長

を可変にする技術を取り入れることにより、実用的な第2高調波発生装置を構成することが出来ることを発見した。

そこで、この発明の目的は、LDを基本波光源にして第2高調波発生素子を用いた、高出力の短波長のレーザ光を出力でき、コンパクトな第2高調波発生装置を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

この目的の達成を図るため、この発明によれば、半導体レーザを基本波光源とする第2高調波発生装置であつて、

両端面を低反射端面とした半導体レーザチップと、該半導体レーザチップの両低反射端面の近傍にそれぞれ光ファイバ端を配して両低反射端面間を光学的に結合するための光ファイバと、

前記半導体レーザチップの一方の低反射端面と前記光ファイバの光ファイバ端との間に設けられた第2高調波発生素子と、

前記光ファイバの中間に設けられた波長選択するための光学手段と
を具えており、

前記光学手段は、その配置角度を調整することにより、前記第2高調波発生素子の位相整合条件を満足させる発振波長で前記レーザ発振を行わせるための基本波を選択する手段としたこと
を特徴とする。

この発明の実施に当たり、好ましくは、光学手段は回折格子またはプリズムとするのが良い。

(作用)

この発明の第2高調波発生装置は、半導体レーザを基本波光源としている。そして、半導体レーザ(LD)チップの両出射端面を低反射端面とし、光ファイバを用いて両出射端面間を光学的に結合する(光ファイバ結合法)ことにより、LDチップ、第2高調波発生素子、波長選択するための光学手段および光ファイバで、外部共振器としてのループ共振器を構成しており、光学手段で選択された発振波長でレーザ発振する。LDチップの一方の低反射端面と光ファイバ端との間に第2高調波発生素子(SHG素子)を配設してあるので、レーザ発振光がSHG素子内を伝播し、その間に第2高調波に変換され、この第2高調波のレーザ光が光学手段を経て出力する。

(実施例)

以下、図面を参照して、この発明の実施例につき説明する。尚、図面は、この発明が理解出来る程度に各構成成分の大きさ、形状および配置関係を概略的に示してあるにすぎない。

第1図を用いてこの発明の装置の実施例を説明する。先ず、この装置では半導体レーザを基本波光源として用いる。この半導体レーザ(LD)のチップ50の活性領域51の両出射端面を低反射コーティング(ARコーティングと

いう)を行なって低反射端面52および54とし、このLDチップ単体ではレーザ発振しないようしている。この低反射端面の反射率は最大でも 10^{-4} 程度とし、より高出力を得るためにには、それに応じて 10^{-4} 以下の反射率とするのが良い。

また、LDチップ50の両低反射端面52および54の近傍にそれぞれ光ファイバ端を配した光ファイバ56、62を設けてある。これら光ファイバ56、62により、LDチップ50の両低反射端面52および54間に光学的に結合する。

また、LDチップ50の一方の低反射端面54と光ファイバ56のファイバ端との間に、第2高調波発生素子32を配設する。

また、光ファイバのループの途中、この実施例では光ファイバ56と62との間に発振波長の選択を行なうための光学手段40を配置する。この実施例では、この光学手段40を光学素子である回折格子としている。

尚、この実施例では、これら光ファイバ56および62には、光学手段すなわち回折格子40側のファイバ端にグレーデッドインデックスレンズ(GRINレンズ)58および60をそれぞれ設けてある。また、LDチップ50の一方の低反射端面54側からの出射光をレンズ28、30で導波路型SHG素子32の光導波路34に入射させるととき、光導波路34に入射する光はTMモード(光の電場ベクトルが図面の紙面に垂直方向に振動しているモード)であるので、所要に応じて結合率を上げるために、好ましくは、1/2波長板36で光の電場の振動面を90°回転させておくのが良い。このようにすることで光導波路34に入射する基本波レーザ光のエネルギーを大きくできる。

LDチップ50からの出射光はレンズ28、1/2波長板36、レンズ30を通過してSHG素子32に入射する。このSHG素子32からの出射光はレンズ38を通過して光ファイバ例えば偏光面保存ファイバ56に入射する。ファイバ56を伝播した光はグレーデッドインデックスレンズ(GRINレンズ)58で平行光となり、回折格子40で波長選択をうけ、再度GRINレンズ60を通してファイバ62に戻り、レンズ64および66を介して、LDチップ50に戻る構成となっている。尚、この実施例では、LDチップ50と、SHG素子32と、レンズ28、30、38、64および66と、1/2波長板36を以って第2高調波発生ユニット70を構成している。そして、第2高調波発生ユニット70と、回折格子40と、光ファイバ56、62とで主としてループ共振器を構成している。

この実施例の構成で、基本光はこのようにループ光導波路を通ってLDチップ50に戻るため、これによって帰還構造が構成されレーザ発振が起きる。

今、回折格子40の格子定数をd、回折角をθとして

$$dsin\theta = \lambda(\omega) \quad \dots (3)$$

なる条件を満足するように、図に示すとおり回折格子40を配置すれば、基本波の波長 $\lambda(\omega)$ がLD50の発振波長として決定する。このことから、配置角度θを調整することにより、LD50の発振波長 $\lambda(\omega)$ を変えて搬位相整

合条件(2)式を完全に満足させることができるとなる。なぜならば、基本波と第2高調波の実効屈折率N(ω)およびN(2ω)は、基本波の波長入(ω)の関数であるからであり、一方、発振モード間隔は、ほぼ0.001nm程度となり、回折格子40による発振波長の調整は事实上連続的にできるからである(尚、通常のLDではこのモード間隔が0.3nm程度であり、温度等で発振モードを制御しても必要な発振波長を選べない可能性が高い。)

以上、説明したように、回折角 θ を調整して第2高調波が最大に取り出せるように、従って、第2高調波変換効率が最大となる波長を選択して、この波長のレーザ光を基本波とすることができる。

ここで、回折角 θ の調整で発振波長のコントロール可能な範囲はLD活性領域51の利得領域であり、これは100nm以上である。この範囲において(2)式の擬位相整合条件を満足するようにSHG素子32を設計、製作することは現在の技術をもってしても容易である。

この実施例の第2高調波発生装置によれば、第2高調波の出力は、光ファイバ62の中途に設けた方向性結合器72から取り出せる。このとき、長波長カットフィルタを通して、第2高調波のみ取り出せる。この装置によれば、第2高調波が光ファイバ62から取り出せるので、多くの応用において大変使いやすい。

また、回折格子40の波長選択性は強いので、この装置の基本波のスペクトル半値幅は1nm以下と非常にせまくでき、それだけSHG変換効率の向上に寄与する。

この発明は、上述した実施例のみに限定されるものではなく、多くの変形または変更に行ない得ること明らかである。

例えば、上述した実施例では、波長選択の光学手段として回折格子を用いたが、この回折格子の代わりにプリズム80を用いても同様であることはいうまでもない。

第3図にこのプリズムを用いた場合の例を、波長選択性を有する部分についてのみ示し説明する。

プリズムの場合、基本波のレーザ光(入(ω))と第2高調波(入(2ω))の方向を完全に分離でき、プリズム80で分離した基本波のレーザ光(入(ω))と第2高調波(入(2ω))とを、それぞれの光ファイバ62および88に、それぞれ導入すれば良い。尚、86はGRINレンズである。

このように、プリズムを用いて波長選択性を行なう場合には、波長選択性は回折格子に比べて弱いので、基本波の発振光の波長半値幅が広くなり、この分だけSHG変換効率は小さくなる。

また、場合によっては、光学手段を回折格子およびプリズム以外の光学素子とすることもできる。

さらに、上述した実施例では、SHG素子として擬位相整合法を用いたもののみについて説明したが、基本波レーザ光の波長を変化させることで位相整合条件を満たす

ようでき、SHG変換効率を高められる性質の素子に対して等しく利用できる技術であることは言うまでもない。そして、このSHG素子を形成する結晶として、LN(LiNbO₃)、KTP(KTiOPO₄)、その他の任意好適な材料の結晶を用いることができる。

上述したこの発明の第2高調波発生装置の特長を要約すると次の通りとなる。

①半導体レーザ(LD)チップの両端面を低反射コーティングにより低反射端面とし、

LDチップのレーザ光の出射端近傍に光ファイバ端を配し、

LDチップの一方の端面とこの光ファイバ端との間に上記第2高調波発生素子を配置し、

光ファイバの中間に波長選択できる光学手段として回折格子およびプリズム等といったいずれかの光学素子を配置して、この光学素子により波長選択を行なうように構成したこと

②上記第2高調波発生素子として、擬位相整合法に基づいた素子を利用した構成としたこと。

(発明の効果)

上述した説明からも明らかのように、この発明の第2高調波発生装置によれば、半導体レーザ(LD)の発振光の波長をSHG素子の位相整合条件に合致するように変えられる技術を用いている。従って、SHG素子の設計、製造段階での寸法等の精度不足を、基本波光の波長を変えることで補完できる。

また、半導体レーザ(LD)を基本波光源としているので、ダイ・レーザを基本光源に用いる場合とは異なり、高出力の第2高調波の発生が可能な小型でコンパクトの第2高調波発生装置を提供できる。

従って、この発明の第2高調波発生装置は、波長が短く、高出力の光を必要とする光学分野、例えば、光記録、干渉計、分析、その他の分野に使用して特に好適である。

【図面の簡単な説明】

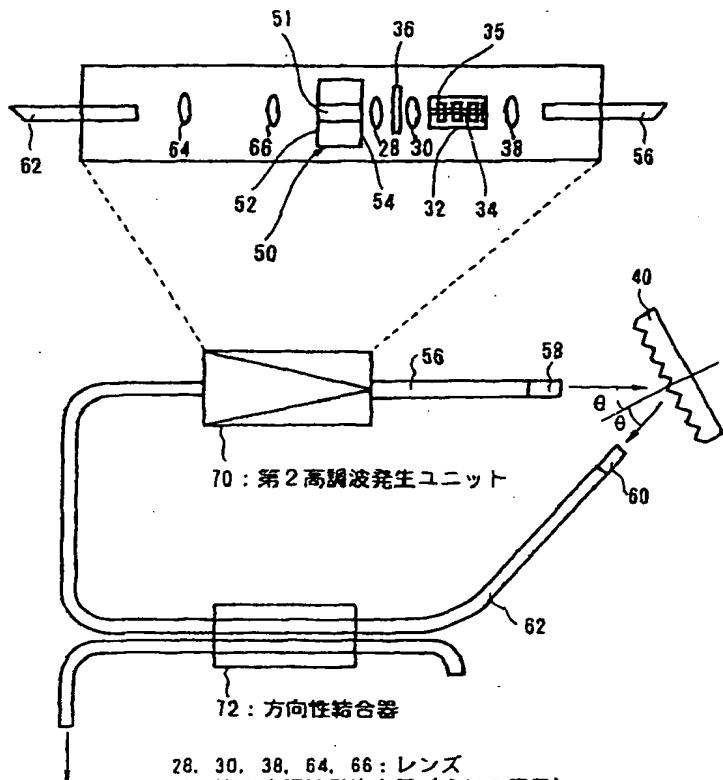
第1図は、この発明の第2高調波発生装置の実施例(光ファイバ結合法)の説明に供する概略図、

第2図は、従来およびこの発明の説明に供する、擬位相整合法による第2高調波発生素子の概念図、

第3図は、この発明の変形例の説明に供する概略図である。

28、30、38、64、66…レンズ、32…第2高調波発生素子(SHG素子)、34…光導波路、35…ドメイン反転領域、36…1/2波長板、40…光学手段(回折格子)、50…LDまたはLDチップ、51…活性領域、52、54…低反射端面、56、62、88…光ファイバ、58、60、86…GRINレンズ、70…第2高調波発生ユニット、72…方向性結合器、80…光学手段(プリズム)。

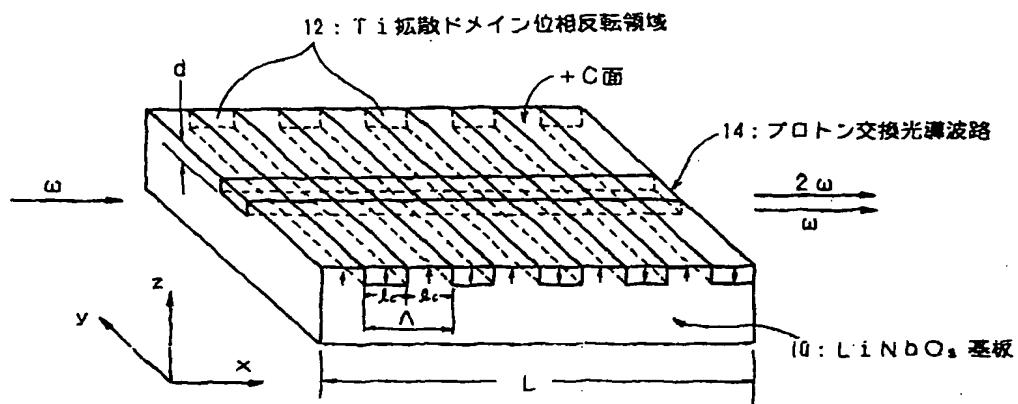
【第1図】



28, 30, 38, 64, 66: レンズ
32: 第2高調波発生素子 (S H G 素子)
34: 光導波路
35: ドメイン反転領域
36: 1/2 波長板
40: 光学手段 (回折格子)
50: LDチップ
51: 活性領域
52, 54: 低反射端面
56, 62: 光ファイバ
58, 60: GRINレンズ

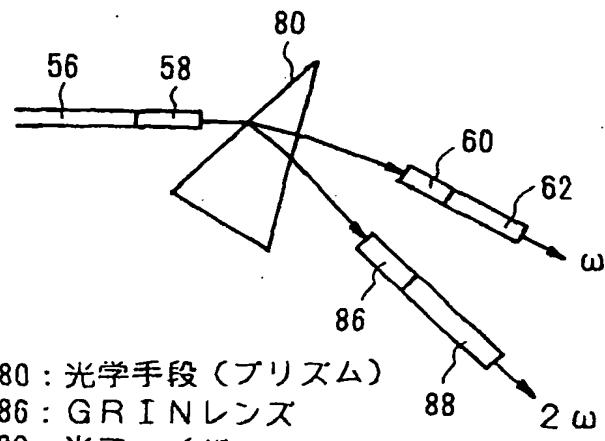
この発明の実施例の概略図

【第2図】



第2高調波発生素子の説明図

【第3図】



変形例